

Pflanzenneurobiologie

# Dumm wie Bohnenstroh?

■ Pflanzen hätten Mechanismen, die durchaus mit neuronaler Informationsverarbeitung und -übertragung bei Tieren zu vergleichen seien, behauptet Frantisek Baluska. Deshalb setzt er sich vehement für die Wiederbelebung der „Pflanzenneurobiologie“ ein. Andere Forscher halten das für großen Blödsinn.

Tulpen und Efeu haben keine Nerven und kein Gehirn – oder doch? Im Mai dieses Jahres diskutierten in Florenz auf dem ersten Symposium für Pflanzenneurobiologie über 150 Wissenschaftler, ob und wie Pflanzen Informationen aufnehmen und verarbeiten.

„Wenn man die vielen neuen Ergebnisse berücksichtigt, die Pflanzenphysiologen, Ökologen und Molekularbiologen in den letzten Jahren gesammelt haben, dann muss man Pflanzen in einem neuen Licht betrachten“, argumentiert Frantisek



CIA-Mann Cleve Backster schließt ein Philodendron an einen Lügendetektor an – und diskreditiert ein ganzes Feld.

Baluska vom Institut für Zelluläre und Molekulare Botanik der Universität Bonn, einer der Organisatoren des Meetings. Der Zellbiologe ist felsenfest davon überzeugt, dass Pflanzen über Mechanismen verfügen, die neurobiologischen Vorgängen in Tieren sehr ähnlich sind.

Beispielsweise können Pflanzen Information chemisch und elektrisch weiterleiten. Man hat an Pflanzen Aktionspotenziale gemessen. Und man hat viele Gene und Proteine gefunden, die denjenigen ähnlich sind, die bei Tieren Informationen weiterleiten, etwa Synaptotagmin und Glutamat-Rezeptoren.

## So viele Analogien

„Pflanzen können Informationen aus ihrer Umwelt aufnehmen, verarbeiten und weiterleiten“, sagt Baluska. „Sie können sogar lernen und Entscheidungen über ihre künftigen Aktivitäten treffen. Wenn man genau darüber nachdenkt, kommt man nicht umhin festzustellen, dass Pflanzen nicht nur eine Art neuronale Informationsverarbeitung haben, sondern sich sogar intelligent verhalten.“

„Das ist völliger Mumpitz“, erregt sich Gerhard Thiel, der die Arbeitsgruppe Biophysik von Membranen an der Technischen Universität Darmstadt leitet. „Pflanzen haben kein Gehirn, auch keine Hirn-ähnlichen Strukturen, wie Baluska glaubt, sondern schlicht eine Wurzel. Und warum muss ich neue Begriffe für Dinge finden, die ich schon benannt habe? Das bringt die wissenschaftliche Erkenntnis keinen Schritt weiter.“ Diese Ansicht dürften viele Kollegen teilen – das weiß auch Baluska.

Seit vielen Jahren vergleicht man Pflanzen und Tiere – und findet immer mehr Mechanismen und Moleküle, die in beiden Domänen gleichermaßen benutzt werden. Schon Ende des 19. Jahrhunderts meinte der berühmte englische Biologe Thomas Henry Huxley angesichts frap-



In der Fantasy à la Tolkien ist die Sache klar.

render Ähnlichkeiten: „Die Pflanze ist also ein im Holzkasten eingesperrtes Tier...“.

Baluska hält diese Aussage im Grunde für richtig. Pflanzen und Tiere würden sich mit den gleichen Prozessen sexuell fortpflanzen – nämlich durch Verschmelzung von Oozyte und Spermium. Sie greifen zu den gleichen Mechanismen wie Tiere, wenn sie von Schädlingen angegriffen würden, und nützten sogar die gleichen Moleküle und Signalwege, um ihre Tagesrhythmen zu steuern. Außerdem hätten Pflanzen ein Aktomyosinsystem – ähnlich wie Tiere in ihren Muskeln. Baluska selber hat F-Aktin in Wurzelspitzen immunologisch lokalisiert. So argumentieren er sowie seine Bonner Kollegen Dieter Volkmann und Andrej Hlavacka gemeinsam mit Stefano Mancuso (Universität Florenz) und Peter Barlow (Universität Bristol) in dem Tagungsband, der Ende dieses Jahres erscheinen wird.

Da Pflanzen indes weder Neuronen noch Synapsen haben, fällt es nicht leicht zu glauben, sie könnten wie Tiere über ein Netzwerk verfügen, das auf Nerven-ähnlichen Strukturen basiert. Am Vorhandensein phylogenetisch verwandter Moleküle und Gene zweifelt man nicht – ob aber diese Verwandten auch gleichartige, analoge Funktionen erfüllen, ist in vielen Fällen nicht geklärt.

## Ein Buch mit Folgen

Beispiel Aktionspotentiale. Schon Charles Darwin schrieb 1875 über die Existenz von elektrischen Signalen in Insekten-fressenden Pflanzen. In den 70er Jahren verdichteten sich die Hinweise darauf, dass das Grünzeug Informationen nicht nur über chemische Moleküle, sondern auch elektrisch leiten kann. Die Hoffnung, dass diese ersten Ergebnisse



weiter verfolgt würden, wurden jedoch zunächst gemacht, als Peter Tompkins und Christopher Bird 1973 ihr Buch „The Secret Life of Plants“ publizierten.

Dieses Buch rüffelte beispielsweise der Pflanzenphysiologe Eric Davies (North Carolina State University, Raleigh) als eines der besten Beispiele für „Pseudowissenschaften“. Nicht zuletzt, weil darin die wissenschaftlich höchst umstrittenen, weil nicht wiederholbaren Untersuchungen von Cleve Backster aus den 60er Jahren vorgestellt wurden. Der Kriminologe hatte einen Philodendron an einen Lügendetektor angeschlossen und damit dessen Reaktionen gemessen.

Das Buch diskreditierte das gesamte Feld. „Mit einem Schlag war die Elektrophysiologie an Pflanzen in der Wissenschaftsszene erledigt. Es gab überhaupt keine Forschungsgelder mehr, erzählt Baluska.

Inzwischen hat sich das Ansehen dieser Disziplin wieder gebessert, wofür vor allem die Ionenkanalforscher gesorgt haben. „An einzelnen Pflanzenzellen haben wir Aktionspotentiale gemessen“, bestätigt Thiel. Ob aber Pflanzen elektrische Signalübertragung von der Wurzel zu den Blättern oder umgekehrt zur schnellen Kommunikation benutzen, weiß man nicht.

Einige wenige Arbeiten dokumentieren, dass elektrische Signale in Pflanzen auftreten, wenn sie durch Insektenfraß oder Feuer verwundet werden. Mimosen und Pappeln reagieren auf Reize mit Eiswasser mit typischen Aktionspotentialen im Phloem, die denen von Tieren ähneln. Verbrennt man einer Pappel aber ein Blatt, schickt sie ein völlig anderes elektrisches Signal los, das mit einer Geschwindigkeit von 3-5 mm pro Sekunde mindestens 15 cm weit laufen kann. Auf das Feuer reagiert die Pflanze in kürzester Zeit mit dem Herunterfahren der Photosynthese in anderen Blättern.

### **Aktionspotentiale? Kein Wunder!**

Diese Arbeiten kommen aus dem Labor von Jörg Fromm, der das Institut für Holzbiologie an der Technischen Universität in München leitet. Fromm wundert sich nicht, dass auch das Grünzeug

elektrische Signale feuert. Schließlich, so argumentiert er, würden schon die gemeinsamen Vorfahren von Tieren und Pflanzen, etwa die Algen, dieses Mittel der Signalübertragung benutzen. „Man müsse nun die Kausalität von Signalleitung und biochemischer Wirkung untersuchen.

Die Vertreter der pflanzlichen Neurobiologie ziehen noch weitere Vergleiche zwischen neuronalen Strukturen von Maus und Mais. Wie Tiere hätten



Mimosen „machen“ Aktionspotentiale

auch Pflanzen Synapsen, in denen unter anderem das Phytohormon Auxin als Neurotransmitter arbeite, meint Baluska. Dem tierischen Gehirn ähnliche neuronale Strukturen vermutet er in den Wurzelspitzen der Pflanzen. Und im Phloem sieht er das Analogon zu den langen tierischen Neuronen.

### **Synapse oder nicht Synapse**

Der Begriff Synapse, 1897 vom britischen Nobelpreisträger Charles Sherrington geprägt, bezeichnet in seiner ursprünglichen Verwendung die Kontaktstellen zwischen Nervenzellen oder zwischen Neuronen und anderen Zellen, an denen die Übertragung von Neurotransmittern stattfindet. Baluska verweist hier auf eine weitere Definition von Synapsen, wonach diese einfach nur Zellkontakte darstellen, über welche Zellen miteinander kommunizieren. Das könnte aber auch ohne Transmitter geschehen, wie etwa bei den Immuno-Synapsen. Dieser Begriff bezeichnet jene Kontakte zwischen T-Lymphozyten und Antigen-präsentierenden Zellen (APCs), an denen Signalübertragung stattfindet. Analog dazu bezeichnet man die engen Kontaktpunkte

zwischen Viren und Zellen als virologische Synapsen.

Baluska meint, es sei durchaus möglich, dass das Pflanzenhormon Auxin an den „Pflanzensynapsen“ über Vesikel wie ein Neurotransmitter zwischen Pflanzenzellen hin- und hertransportiert und wiederverwertet werde. In den Querwänden der Zellen von Übergangszonen fand er jedenfalls für den Vesikeltransport typisch hohe Konzentrationen an F-Aktin. Baluska nimmt daher an, dass diese Moleküle für einen Brefeldin A-sensitiven Auxintransport nötig sind.

### **Neue Begriffe für olle Kamellen**

Dieser Argumentation mag Auxin-Spezialist Jiri Friml von der Universität in Tübingen, der ebenfalls den Kongress in Florenz besucht hat, nicht zustimmen. Es sei richtig, sagt er, dass PIN-Proteine, die wichtig für den Auxin-Transport seien, über Exo- und Endozytose zyklisch aus den Zellen in der Wurzelspitze hinaus- und wieder eingeschleust würden, und dass dieser Mechanismus weiterhin wichtig für die Funktion des Auxins sei. Er schränkt jedoch ein: „Wir wissen überhaupt nicht, ob auch das Auxin selber an dem Recycling teilnimmt. Das ist eine Möglichkeit, aber überhaupt nicht bewiesen. Um so unerklärlicher finde ich es, dass diese Behauptung in manchen Reviews und Lehrbüchern bereits verbreitet wird.“

Während die Experten noch relativ leise darüber diskutieren, ob es pflanzliche Synapsen denn nun wirklich gibt, entfacht die Behauptung, Pflanzen seien intelligent und hätten Gehirn-ähnliche Strukturen, richtig Feuer. Kein Wunder, denn schließlich hat man Intelligenz und neuronale Leistungen bisher ausschließlich der Fauna zugeschrieben.

„Wahrnehmung, Verarbeitung und Übertragung von chemischen Signalen kommen bei Pflanzen vor, das ist heute unumstritten“, räumt Friml ein. Dennoch hält er es – und damit steht er nach eigener Überzeugung nicht alleine – für völlig überzogen, Analogien zum tierischen Gehirn und dessen kognitiven Fähigkeiten zu ziehen. Für ihn steht fest: „Pflanzen haben weder Neuronen noch ein Gehirn!“



Das sehen seine Kollegen am Rhein ganz anders. Baluska und Volkmann glauben, Pflanzen hätten durchaus Gehirn-ähnliche Kommandozentren – und zwar in den Wurzeln. Schon Darwin war davon überzeugt. 1880 schrieb er: „Es ist kaum übertrieben zu sagen, dass die Wurzelspitze, ausgestattet [...] mit der Kraft, die Bewegung angrenzender Bereiche zu lenken, wie ein Gehirn eines niederen Tieres arbeitet; dieses Gehirn sitzt am vorderen Ende des Körpers, es empfängt Eindrücke von den Sinnesorganen und dirigiert verschiedene Bewegungen“

### In der Wurzelspitze spielt die Musik

Jahrelang hat Baluska die Übergangszone in Wurzeln untersucht. Er und sein Florentiner Kollege Mancuso beobachteten in dieser Region heftige Endo- und Exozytose, rhythmische Muster von Ionenflüssen sowie unerklärbar hohen Sauerstoffverbrauch. In diesem Sinne, so Baluska, verhielten sich Zellen in Übergangszonen von Wurzelspitzen wie Einheiten eines pflanzlichen Nervensystems.

Baluska weiß, dass der Begriff „Pflanzenneurobiologie“ wie auch die übrigen Analogien viel Diskussionsstoff bergen. Das nimmt er bewusst in Kauf, vielleicht hat er es sogar auf Provokation angelegt. Schließlich könnte die erhöhte Aufmerksamkeit Forschungssponsoren dazu bewegen, in diesem Sinne mehr Geld anzulegen. Ganz konkret hofft Baluska, dass speziell die Elektrophysiologie besser unterstützt wird. Und er möchte, dass die Diskussion über die Begrifflichkeit bewirkt, dass die Wissenschaft Rosen und Apfelbäume nicht weiterhin als gefühllose, sessile Lebewesen sieht, sondern dass sie aktiv ihre Umgebung wahrnehmen und darauf reagieren.

### Hauspostille bereits gegründet

Irgendwie bleibt er dabei aber auch Realist. Die neue Hauspostille der Pflanzenneurobiologen wurde „Plant Signaling and Behavior“ getauft. Baluska: „Plant Neurobiology hätte wohl zu viele Autoren abgeschreckt.“ Baluska und Volkmann geben die Zeitschrift gemeinsam mit Mancuso und Anthony „Tony“ Trewavas (Universität Edinburgh) heraus.

Der Schotte Trewavas ist übrigens eine weitere illustre Person der Szene. Thiel hält ihn für einen genialen Querdenker – der aber in dieser Sache weit übers Ziel hinausschießt. In mehreren Artikeln, die Trewavas in den letzten Jahren publiziert hat, kann man nachlesen, dass er Kohlköpfe und Schneeglöcken für durchaus intelligente Lebewesen hält. „Die Intelligenz von Pflanzen ist eine Eigenschaft, die aus der kollektiven Interaktion zwischen verschiedenen Geweben einer wachsenden, individuellen Pflanze resultiert“, schreibt er. „Die Struktur des gesamten Systems koordiniert das Verhalten der einzelnen Teile, und intelligentes Verhalten von Pflanzen lässt sich am besten beschreiben als adaptatives variables Verhalten während der Lebenszeit eines Individuums.“ Trewavas zufolge benötigen Tulpen und ihre Verwandten zwar kein Gehirn, da sie sessile Organismen sind. Aber dieser Tatbestand würde Rechenfähigkeiten, die auf Kommunikation basieren, nicht ausschließen. Deshalb, so Trewavas weiter, sei pflanzliche Intelligenz ein wertvolles Konzept.

### Alles eine Frage der Definition

Gehirn hin, Intelligenz her: Kann denn eine Pflanze überhaupt zwischen verschiedenen Verhaltensmustern wählen? Welches sind denn die Variablen und welche die Rechenfähigkeiten pflanzlichen Verhaltens? Ist die Pflanze nicht vielmehr eine Art Container für biochemische Signalwege, die in An- oder Abwesenheit bestimmter Umweltbedingungen an- oder abgeschaltet werden – und zwar immer in der gleichen Weise?

Zurück zur Intelligenz. Deren Definition ist ein durchaus diffiziles Problem. Eine zugegebenermaßen brutale, aber wenigstens eindeutige Definition ist die folgende von 1932: „Intelligenz ist, was der Intelligenztest misst.“ Demnach wären Pflanzen doof wie Bohnenstroh.

Auch für den Kognitionsforscher und Professor für Theoretische Biologie Holk Cruse von der Universität in Bielefeld ist es nicht einfach, Intelligenz zu definieren. Er hält die Reaktionen des Grünzeugs eher für Reflexe, die Pflanzen im Laufe der Evolution entwickelt und erhal-

ten haben. Cruse, Autor des Buches „Die Entdeckung der Intelligenz oder können Ameisen denken“, sagt: „Der Begriff der Intelligenz und seine Definition werden um so verschwommener, je genauer man hinschaut. Nach meiner Auffassung hat Intelligenz etwas mit Vorhersehen und Planen zu tun. Intelligente Organismen können ein Situationsmodell durchspielen und dann aus verschiedenen Handlungsoptionen auswählen. Dieser Prozess muss aber nicht neuronal basiert sein.“

### Bitte keine Vorurteile

Genau das – Vorhersehen und Planen – meint indes Trewavas bei Pflanzen zu sehen. Als Beispiel dafür führt er die Quendelseide an. Diese parasitär lebende Pflanze sucht mit ihren Tastern so lange herum, bis sie eine Wirtspflanze gefunden hat, die ausreichend Nahrung verspricht. Zwischen dem ersten Kontakt und dem Zeitpunkt, bis ein stärkerer Trieb den Wirt penetrieren kann, vergehen aber mindestens vier Stunden. Da es zum Zeitpunkt des Erstkontaktes durchaus sein kann, dass die Quendelseide noch gar keine Nährstoffe braucht, sieht sie also ihren künftigen physiologischen Zustand vorher, argumentiert Trewavas.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass unter den „grünen“ Biologen der Vergleich von Tieren und Pflanzen hinsichtlich neuronaler Fähigkeiten umstritten ist. (Was erst passieren wird, wenn die Neurologen Wind davon kriegen, sei dahingestellt.) Trotzdem müsse man darüber diskutieren, meint Volkmann. Er plädiert eindringlich dafür, die wissenschaftliche Forschung hier nicht durch Dogmen einzuschränken. „Vor 50 Jahren nahm man an, Pflanzen hätten keine Muskeln. Das hat die Aktomyosin-Forschung an Pflanzen um mindestens 25 Jahre zurückgeworfen – denn es hat einfach keiner danach gesucht. Und genau das wollen wir mit unserer Initiative vermeiden helfen. Wir müssen Pflanzen unter neuen Gesichtspunkten betrachten, denn nur so können wir untersuchen, inwieweit diese Organismen zu planendem, integriertem und koordiniertem Verhalten in Reaktion auf eine Vielzahl von Umwelteinflüssen fähig sind.“

KARIN HOLLRICHER